

原 著

事象関連電位による視覚の情報処理過程の分析

早川友恵¹⁾ 深井小久子¹⁾ 川島幸夫¹⁾²⁾ 松田盈子³⁾

川崎医療福祉大学 医療技術学部 感覚矯正学科¹⁾

川崎医科大学 眼科学教室²⁾

川崎医科大学 生理機能センター³⁾

(平成4年3月11日受理)

Analysis of Visual Information Processing by Event Related Potential (ERP)

**Tomoe HAYAKAWA¹⁾, Sakuko FUKAI¹⁾, Sachio KAWASHIMA¹⁾²⁾
and Eiko MATSUDA³⁾**

*Department of Sensory Science, Faculty of Medical
Professions, Kawasaki University of Medical Welfare¹⁾*

Department of Ophthalmology, Kawasaki Medical School²⁾

Human Physiology Center, Kawasaki Medical School³⁾

Kurashiki, 701-01, Japan

(Accepted Mar. 11, 1992)

Key words : visual information processing, EEG topography, dipole tracing,
normal subjects

Abstract

Information processing evoked by visual discrimination was analyzed using EEG topography and dipole tracing. Both signal and numerical stimulation was used on seven normal subjects.

1. EEG topography

Signal stimulation resulted in a positive far-field EEG potential on the central scalp after 306~503msec. (324.0 ± 28.6 msec.) for all subjects. Numerical stimulation resulted in two positive far-field potentials on the central scalp after 168~236msec. (206.4 ± 20.7 msec.) and 372~503msec. (439.9 ± 48.0) for all subjects. The latter potential tends to differ from person to person.

2. Dipole tracing

The generator of ERP exists deep within the brain at signal and numerical stimulation. From our data, we can objectively estimate a differentiation of visual information

processing and a subject's visual recognition ability. It is believed that visual recognition and discrimination may be taking place at a centrally deep location within the brain.

要 約

視覚に関する高次情報処理過程を明らかにするために、信号および数字の視覚刺激による事象関連電位を動的脳図法及び双極子追跡法で検討した。被験者は正常人7例である。

1. 動的脳図法

信号刺激では、刺激後306～503msec. (324.0 ± 28.6 msec.) に頭頂部に遠隔電場電位を示す陽性帯電が出現した (7/7例)。数字刺激では、陽性帯電が2回出現した。陽性帯電は遠隔電場電位を示し、刺激後168～236msec. (206.4 ± 20.7 msec.) 及び372～503msec. (439.9 ± 48.0 msec.) に頭頂部に出現した (7/7例)。後期成分の頂点潜時は個体差が認められた。

2. 双極子追跡法

事象関連電位の電位発生源を分析したところ、信号刺激及び数字刺激の電源位置はいずれも大脳深部を示していた。

本報により視覚の情報過程の差及び情報処理能力が客観的に評価できることが判明した。視覚刺激による認知、判別は大脳深部構造物でなされていることが推察された。

結 言

視覚に関する高次情報処理過程には認知・判断・記憶などがある。しかしながら、これらの機能は脳のどの部位でどのような神経ネットワークでなされているかは、いまだ明らかにされていない。

脳の高次機能を解明する方法としては、誘発電位による分析が一般的である。種々の誘発電位の中には、刺激に対して一定の情報処理を行った時に生じる電位があり、これは狭義の事象関連電位 (Event Related Potential: ERP) とよばれている。事象関連電位は、1953年 Bancaud¹⁾により注意反応 vertex potential (P200)として報告された。さらに1965年 Sutton²⁾により高次反応 (P300)が報告され、随伴性陰性変動や準備電位を含めて数個の成分があることが明らかになってきた³⁾。しかしながら、視覚刺激の高次情報処理過程については不明な点が多い。

本報では視覚に関する高次情報処理過程を明らかにするために、信号及び数字の視覚刺激による事象関連電位を同一例で比較し、さらに電位発生源を検討した。

方 法

刺激装置にはパーソナルコンピュータ (NEC PC9801及びPC8853ディスプレイ (縦20cm×横27cm)) を使用した。刺激は信号刺激と数字刺激の2種類を行い、それぞれの刺激方法で、呈示頻度の少ない課題刺激を被検者に数えさせる odd ball 課題を与えた。

信号刺激は、無作為に呈示される赤 (20回) 黄 (30回) 青 (30回) の模擬信号のうち、低頻度刺激の赤の呈示回数を数え、課題遂行後に何回呈示されたかを答えさせる方法である。その際、赤信号の呈示がトリガーとなり誘発電位が記録される。数字刺激は、1から9の数字のうち (奇数15回、偶数35回)、低頻度刺激の奇数が

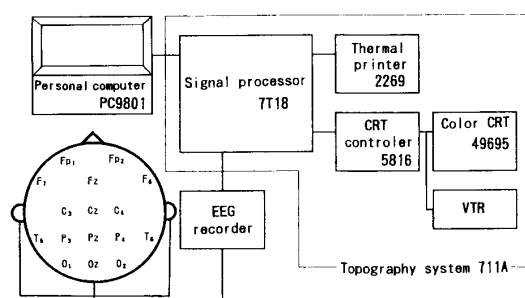


図1 刺激装置及び記録装置のブロックダイアグラム

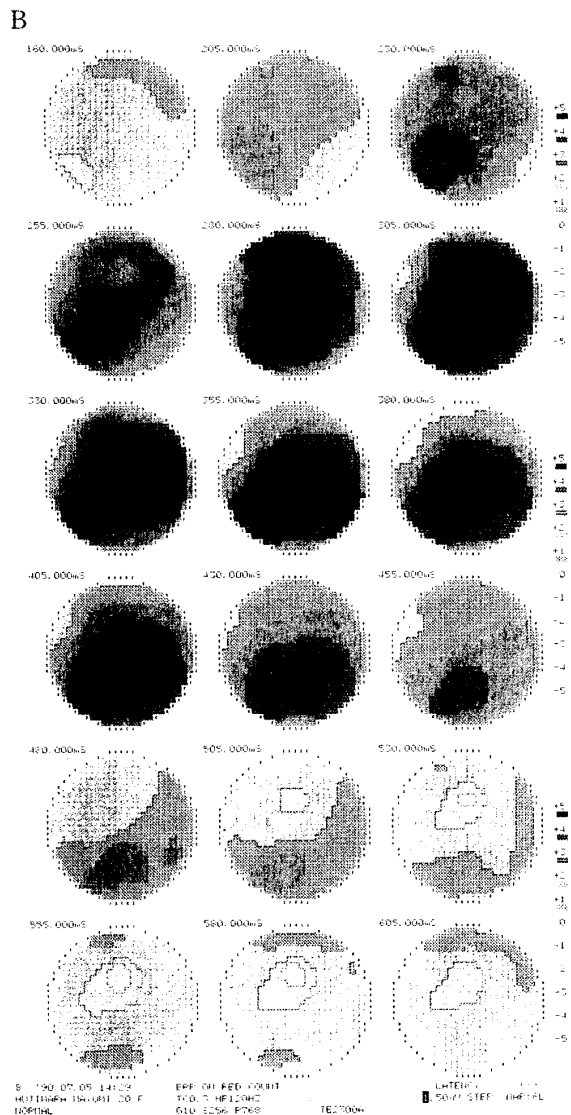
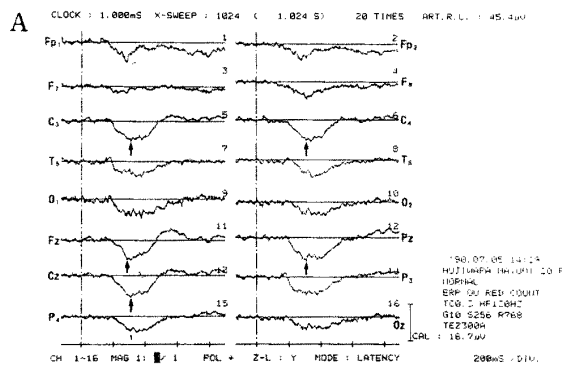


図2 事象関連電位の動的脳電図とその原波形
信号刺激 (No. 3 M. H.)
A: 原波形 B: 動的脳電図 (図中黒色系は陽性成分, 白色系は陰性成分を示す)

何回呈示されたかを答えさせる方法である。数字刺激では奇数の呈示がトリガーとなり誘発電

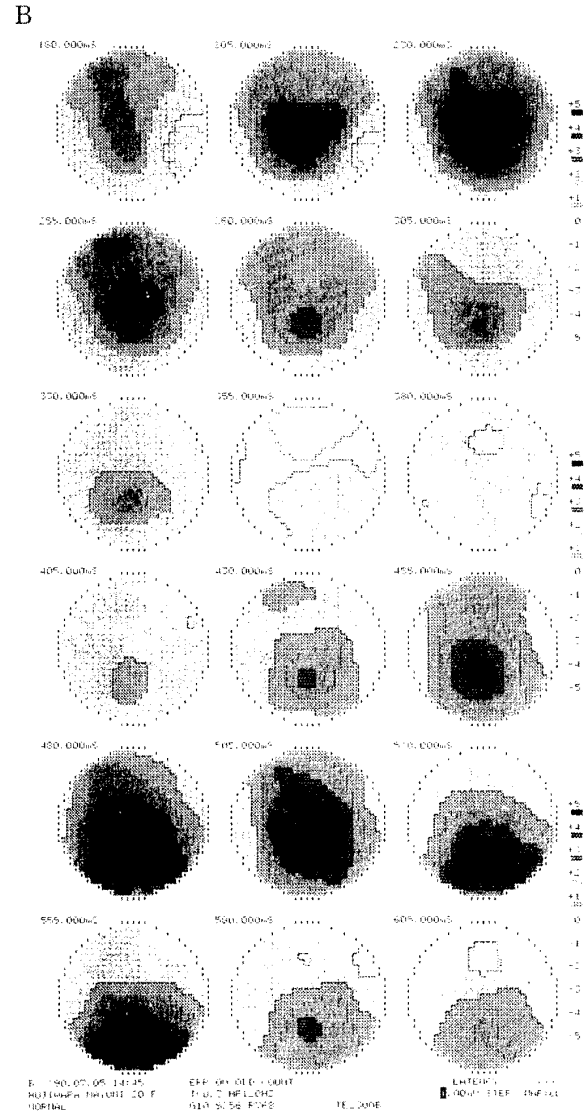
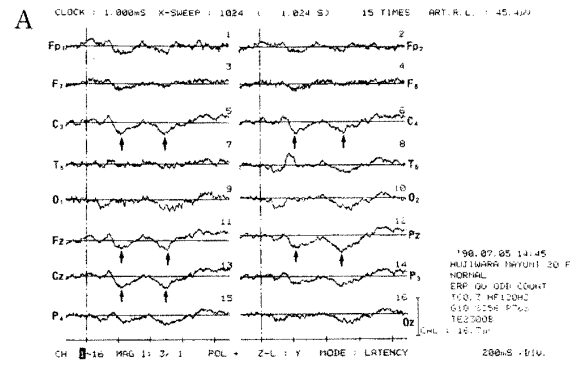


図3 事象関連電位の動的脳電図とその原波形
数字刺激 (No. 3 M. H.)
A: 原波形 B: 動的脳電図 (図中黒色系は陽性成分, 白色系は陰性成分を示す)

位が記録される。加算回数は信号刺激では20回, 数字刺激では15回である。アーチファクトの混

入により加算回数が不足する場合は刺激を続行した。視標呈示時間は0.5秒、刺激間隔は2秒である。

事象関連電位は、国際10-20法に基づき頭皮上16カ所(Fp₁, Fp₂, F₇, Fz, F₈, C₃, Cz, C₄, P₃, Pz, P₄, T₅, T₆, O₁, Oz, O₂)に設置した探査電極と両耳朶短絡の基準電極から導出した。時定数は0.3sec., 高周波フィルターは120Hzである。分析時間は1000msec. とした。記録はTopography system711A (NEC 三栄) にて行い、動的脳電図を25msec. 間隔で作成した。さらに双極子追跡法⁴⁾による電源位置の推定を行った(図1)。

被験者は正常成人7例(平均年齢20.7歳)である。

結 果

1. 動的脳電図法による事象関連電位

頭皮上16カ所から導出された事象関連電位及びその脳電図を、同一例で比較検討した。

信号刺激では、頭頂部を中心とした広範な電極(Fz, Cz, C₄, C₃, Pz)から陽性電位が得られた(図2 A)。動的脳電図法で分析すると、刺激後280msec. 頃より頭頂部付近に持続時間の長い陽性帯電が出現し、その帯電様式は遠隔電場電位を呈していた(図2 B)。

数字刺激では、頭頂部を中心とした広範な電極(Fz, Cz, C₄, C₃, Pz)から陽性電位が2回出現した(図3 A)。動的脳電図法で分析すると、頭頂部に2つの陽性帯電が得られた。最初の反応は刺激後200msec. 頃に出現し、いったん消退した後、刺激後430msec. 頃に2回目の陽性帯電が出現した。前後2回の反応とも、帯電様式は遠隔電場電位の反応様式を呈していた(図3 B)。

正常人7例について、頭頂部陽性帯電の出現の有無を動的脳電図法で検討し、あわせて陽性電位の頂点潜時を最も電位の高かったCzを基準に測定した。信号刺激では、全例で頭頂部を中心とした遠隔電場電位の様相を呈する陽性帯電が得られた。Czの頂点潜時は刺激後306~387msec. (324.0±28.6msec.) であった(表1)。数字刺激では、全例で陽性帯電が2回出現した。

表1 事象関連電位(陽性帯電)出現の有無と頂点潜時(Cz)信号刺激

No.	Name	Age	陽性帯電	Latency (msec.)
1	K.S.	24	(+)	313
2	H.O.	20	(+)	343
3	M.H.	20	(+)	307
4	T.Y.	21	(+)	306
5	Y.U.	20	(+)	306
6	S.O.	20	(+)	387
7	T.O.	20	(+)	306
				324.0±28.6

表2 事象関連電位(陽性帯電)出現の有無と頂点潜時(Cz)数字刺激

No.	Name	Age	陽性帯電 I	Latency (msec.)	陽性帯電 II	Latency (msec.)
1	K.S.	24	(+)	168	(+)	387
2	H.O.	20	(+)	189	(+)	467
3	M.H.	20	(+)	220	(+)	503
4	T.Y.	21	(+)	219	(+)	402
5	Y.U.	20	(+)	236	(+)	485
6	S.O.	20	(+)	209	(+)	463
7	T.O.	20	(+)	204	(+)	372
				206.4±20.7		439.9±48.0

最初の反応波のCzの頂点潜時は、刺激後168~236msec. (206.4±20.7msec.) であった。2回目出現した反応波のCzの頂点潜時は、刺激後372~503msec. (439.9±48.0msec.) であった(表2)。

2. 双極子追跡法による事象関連電位

同一例における信号刺激及び数字刺激の事象関連電位を双極子追跡法で分析し、脳内電源位置の検討を行った。双極子追跡法はCzの陽性電位の頂点付近を目安に行った。信号刺激による陽性電位(300msec. 付近)の発生源は、大脳深部を示しており(図4 A)、双極子のベクトルの方向は頭頂部を示していた。数字刺激による陽性電位(200msec. 及び500msec. 付近)の電位発生源も同様に大脳深部を示しており(図4 B)、双極子のベクトルの方向は頭頂部を示していた。他の6例でも、信号刺激及び数字刺激の電位発生源は大脳深部であった。信号刺激及び数字刺激による電源位置は、有意な差異を認めなかった。

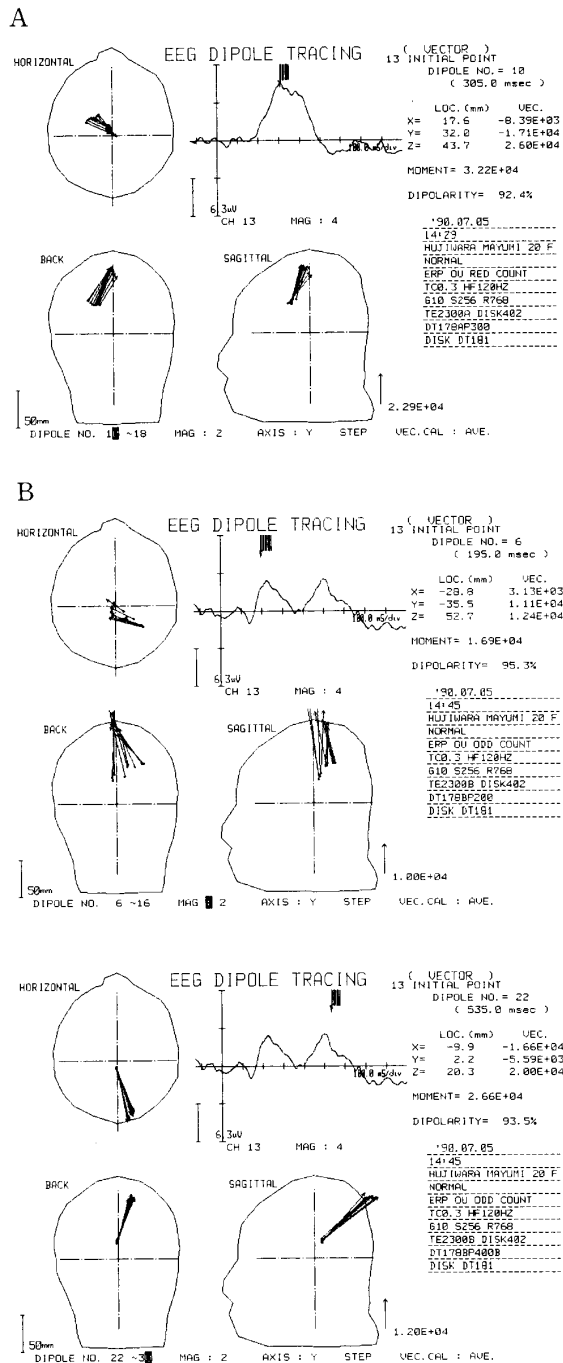


図4 双極子追跡法による事象関連電位の電位発生源 (No. 3 M. H.) (矢印は双極子の電位発生源とベクトルの方向を示し、矢印の長さは電位の大きさをあらわす)

A: 信号刺激

B: 数字刺激

上: 最初の陽性電位 (200msec. 付近)

下: 2回目の陽性電位 (500msec. 付近)

図中右上は原波形で矢印は分析を行った時間帯を示す。

左上: 頭蓋の水平断像 左下: 冠状断像

右下: 矢状断像

考 按

信号刺激及び数字刺激による事象関連電位を検討し、視覚による高次情報処理過程の他覚的評価を試みた。本報では、信号及び数字刺激の異なった2種類の視刺激を行い、刺激方法によって異なった事象関連電位が得られた。

信号刺激および数字刺激の事象関連電位の違いは、刺激の特異性によるものと考え、信号刺激では標的刺激の赤信号の出現と同時に赤であることが認知できる。しかしながら、数字刺激では標的刺激の奇数が出現してもその認知を行った後に、奇数と偶数の概念に照合し判別することが必要となる。このような選択負荷刺激の質の違いが、事象関連電位に影響を及ぼすものと推察する。

数字刺激で2つの陽性電位が得られることに對し、市橋⁵⁾はP200成分は標的刺激でも非標的刺激でも出現する注意反応であり、その後出現する陽性波が課題に対する反応 (P300成分) であると報告している。本報告の結果では、P200成分の頂点潜時のばらつきは少なかったが、P300成分は被検者間で差異があり、課題処理 (奇数の判別) に要する個体差を示している。

以上のことより、視覚の高次情報処理過程の種々の要素は、視覚刺激の方法を変えることにより取り出すことができ、更に情報処理能力も、客観的に評価できると考える。

次に、視覚に関する高次情報処理が脳のどの部位でなされているか、動的脳電図法と双極子追跡法の結果を検討する。今回の2種類の刺激で得られた事象関連電位は、動的脳電図法ではいずれも頭頂部の遠隔電場電位を示した。遠隔電場電位は、電位発生源が頭皮上から遠い場合に出現し、脳幹部に電位発生源があることが明らかになった短潜時視覚誘発反応 (P50成分)⁶⁾や聴性脳幹反応⁷⁾で確認されている。本報で得られた事象関連電位の脳電図の帯電様式は、短潜時視覚誘発反応及び聴性脳幹反応の遠隔電場電位と近似しており、電位発生源は脳深部にあることを示唆している。更に双極子追跡法の結果では、より具体的に脳の深部に電位発生源があることが示され、双極子のベクトルの方向が頭頂部

を示しているために、脳電図では頭頂部の陽性帯電となることが理解できた。動的脳電図法及び双極子追跡法の分析結果は、視覚刺激による認知、判別は脳深部構造物でなされていることを示している。

視覚の高次機能については、近年大脳辺縁系が注目されており、脳の解剖学的研究により後頭葉視中枢から視覚連合野、更に側頭葉外側、側頭葉から視床及び海馬への投射が解明されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。一方、種々の刺激による視覚誘発電位により、視覚の情報処理の機能も明らかにされている。短潜時視覚誘発反応では眼球から後頭葉視中枢に至る過程が明らかにされている¹¹⁾。また市松模様による中潜時視覚誘発電位では、

後頭葉視中枢から側頭葉への帯電が得られ、形態認知の側頭葉の関与が明らかにされている¹²⁾。事象関連電位(長潜時視覚誘発電位¹³⁾)では視覚の認知、判別に関する反応をとらえることができ、視覚の高次情報処理は脳深部構造物でなされていることが推察された。このように視覚の情報処理過程は、一連の視覚誘発電位により分析することができる¹⁴⁾¹⁵⁾。しかも解剖学的所見とも一致しており、生体に対して侵襲を加えることなく視機能を総合的に評価できるものと考ええる。

今後は、視覚と聴覚に関する高次情報処理過程の分析を進め、視覚失認等の臨床例についての検討が必要である。

文 献

- 1) Bancaud J, Bloch V, Paillard J (1953) Contribution EEG a l'étude des potentiels évoqués chez l'homme au niveau du vertex, *Rev Neurol*, **89**, 399—418.
- 2) Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER (1965) Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty, *Science*, **150**, 1187—1188.
- 3) 下河内稔 (1981) 事象関連電位 (I), *臨床脳波*, **23**, 683—690.
- 4) Homma S, Nakajima Y, Musha T, et al (1987) Dipole tracing method applied to human brain potentials, *J Neurosci Methods*, **21**, 195—200.
- 5) 市橋 進, 筒井 純, 安田 雄, 寺尾 章 (1984) 事象関連電位の臨床応用, *臨眼*, **38**, 501—505.
- 6) 川島幸夫 (1984) 短潜時視覚誘発反応の研究 2. フーリエ分析と動的脳電図法の応用, *日眼会誌*, **88**, 909—916.
- 7) 筒井 純, 川島幸夫, 大西 徹 (1986) 視機能に関連する脳幹電位の動的脳電図法による研究, *日眼会誌*, **90**, 1462—1473.
- 8) 川村光毅 (1977) 連合野の線維結合 (I) 皮質間結合 —— サルとネコの皮質間結合の比較と“連合野”の発達についての試論 ——, *神経進歩*, **21**, 1085—1101.
- 9) 川村祥介 (1977) 連合野の線維結合 (II) 皮質下結合 —— 視覚連合野を中心に ——, *神経進歩*, **21**, 1102—1115.
- 10) 山島 重 (1989) 新皮質と大脳辺縁系の関係, *神経心理学入門*, 医学書院, 東京, 30—31.
- 11) Tsutsui J, Kawashima S (1986) Studies on short latency visual evoked potentials in cases with optic pathway lesions, *Neuro-ophthalmology*, **6**, 247—255.
- 12) 正城良樹 (1990) パターン視覚の成立機転に関する動的脳電図法による研究 —— 第1報 視覚正常者における反応プロセス ——, *日眼会誌*, **94**, 964—972.
- 13) Okada YC, Kaufman L, Williamson SJ (1983) The hippocampal formation as a source of the slow endogenous potentials, *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **55**, 417—426.
- 14) Kawashima S, Tsutsui J, Masaki Y (1990) The role of the limbic system of middle and long latency visual evoked potentials, *Brain Topography*, **3**, 233—234.
- 15) 筒井 純 (1988) 眼から脳へ, 脳から眼へ ムービングトポグラフィによる研究, *日眼会誌*, **92**, 883—908.